

戚文元,王海宏,岳玲,等.电子束辐照对鲜切西蓝花冷藏保鲜的影响[J].上海农业学报,2020,36(6):126-131

## 电子束辐照对鲜切西蓝花冷藏保鲜的影响

戚文元<sup>1</sup>,王海宏<sup>1</sup>,岳玲<sup>1</sup>,郑琦<sup>1</sup>,陈志军<sup>1</sup>,颜伟强<sup>1</sup>,包英姿<sup>2</sup>,孔秋莲<sup>1\*</sup>

(<sup>1</sup>上海市农业科学院,上海 201403; <sup>2</sup>上海束能辐照技术有限公司,上海 201403)

**摘要:**针对鲜切西蓝花冷藏期间的黄化衰老、微生物腐败问题,研究电子束辐照的保鲜和杀菌效果。采用 0.03 mm 厚聚乙烯保鲜袋(PE)、0.02 mm 厚聚氯乙烯保鲜袋(PVC)、一次性聚丙烯保鲜盒(PP)3 种不同材料包装鲜切西蓝花,分别经 0 kGy(未辐照)、2.4 kGy、4 kGy 电子束辐照后于 4 ℃ ± 1 ℃ 下冷藏 30 d,定期检测黄化率、失重率、腐烂率、花球坚实度、总叶绿素含量、组织相对电导率、菌落总数、霉菌和酵母、大肠菌群。结果表明:电子束辐照可抑制鲜切西蓝花冷藏期间菌落总数、霉菌和酵母的增加,有效杀灭鲜切西蓝花初始携带的大肠菌群,减少黄化发生和总叶绿素含量下降幅度。采用 0.02 mm 厚 PVC 保鲜袋结合 2.4 kGy 辐照处理效果最佳,4 ℃ 冷藏 18 d 时,鲜切西蓝花的黄化率为 2.2%,失重率小于 1.3%,花球坚实度为入贮初值的 82.3%,总叶绿素含量为 11.5 mg/[100 g FW],是入贮初值的 84.6%,组织相对电导率较入贮初值升高 26.6%,无腐烂发生,无大肠菌群检出。2.4 kGy 电子束辐照有效提高了冷藏鲜切西蓝花的贮藏品质,延长了其保鲜期。

**关键词:**电子束辐照;鲜切西蓝花;冷藏;保鲜

中图分类号:S635.3;TS255.3 文献标志码:A 文章编号:1000-3924(2020)06-126-06

## Effects of electron beam irradiation on preservation of fresh-cut broccoli at cold storage

QI Wenyuan<sup>1</sup>, WANG Haihong<sup>1</sup>, YUE Ling<sup>1</sup>, ZHENG Qi<sup>1</sup>, CHEN Zhijun<sup>1</sup>,  
YAN Weiqliang<sup>1</sup>, BAO Yingzi<sup>2</sup>, KONG Qiulian<sup>1\*</sup>

(<sup>1</sup> Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201403, China;

<sup>2</sup> Shanghai Shuneng Irradiation Technology Co., Ltd., Shanghai 201403, China)

**Abstract:** Aiming at the undesirable yellowing and microbial corruption of fresh-cut broccoli during cold storage, electron beam irradiation was applied to fresh-cut broccoli cold stored in different packages, and its effectiveness for preservation and sterilization were investigated. Fresh-cut broccoli flower packed in 0.03 mm thick polyethylene bag(PE), 0.02 mm thick polyvinyl chloride bag(PVC) and disposable polypropylene fresh-keeping box(PP) were irradiated by 0 kGy(non-irradiated), 2.4 kGy and 4 kGy electron beam respectively and stored for 30 days at 4 ℃ ± 1 ℃, and the yellowing rate, weight loss rate, decay rate, firmness, total chlorophyll content, relative electronic conductivity, total bacterial counts, mould and yeast, coliform bacteria were detected regularly. The results showed that electron beam irradiation could inhibit the growth of total bacterial counts, mould and yeast during cold storage of fresh-cut broccoli, and effectively kill the initial coliform bacteria carried by fresh-cut broccoli. Electron beam irradiation also inhibited the yellowing and decrease of total chlorophyll content of fresh-cut broccoli during cold storage. 0.02 mm thick PVC bag combined with 2.4 kGy irradiation was superior to other treatments. At the eighteenth day of cold storage, the yellowing rate was 2.2%, the weight loss rate was less than 1.3%, the firmness was 82.3% of the initial value, the total chlorophyll content was 11.5 mg/[100 g FW], which was 84.6% of the initial value, and the relative electronic conductivity increased by 26.6% compared with initial value. No decay occurred and no coliform bacteria were detected. 2.4 kGy electron beam irradiation effectively improved the storage quality of fresh-cut broccoli and prolonged the cold storage life.

**Key words:** Electron beam irradiation; Fresh-cut broccoli; Cold storage; Preservation

收稿日期:2019-07-22

基金项目:上海市科技兴农项目(沪农科创字 2018 第 1-6 号);上海农产品保鲜加工工程技术研究中心项目(19DZ2251600)

作者简介:戚文元(1963—),男,本科,研究员,研究方向为农产品辐照加工。E-mail:sunny0123@vip.163.com

\* 通信作者, E-mail:qiuliankong@yahoo.com

西蓝花富含多种营养成分,是具有防癌抗癌功效的保健蔬菜。因为食用部位是幼嫩花球,新鲜西蓝花采后呼吸代谢旺盛,易出现黄化、失水、衰老、腐烂等问题,长期保鲜难度较大。研究表明,采后常温贮藏中,西蓝花茎梗和花蕾失水而变松软,叶绿素降解使花球2—3 d就开始变黄,严重影响其商品价值<sup>[1]</sup>。鲜切蔬菜又称最小加工蔬菜、切割蔬菜,是以新鲜蔬菜为原料,轻度加工而成的净菜或即食蔬菜制品,微生物控制和保鲜技术应用在保证其产品品质中至关重要<sup>[2]</sup>。鲜切西蓝花是切割蔬菜的主要品种之一,也是新鲜西蓝花供应的常见产品形式<sup>[3]</sup>。为保障鲜切西蓝花的食用安全,延长货架期,普遍使用低温、气调和化学杀菌保鲜剂进行鲜切西蓝花保鲜,其中低温主要是采用0℃或4℃<sup>[4-5]</sup>,气调主要是利用聚乙烯(PE)、聚氯乙烯(PVC)、纳米膜等不同种类的保鲜膜实现自发调气<sup>[6-7]</sup>。化学杀菌保鲜剂处理是鲜切西蓝花贮藏研究中普遍使用的技术措施,见于报道的有赤霉素、6-苄基腺嘌呤<sup>[8]</sup>、水杨酸<sup>[9]</sup>、乙醇<sup>[10]</sup>等生理调节物质,臭氧水<sup>[11]</sup>、曲酸<sup>[12]</sup>、植物精油类天然提取物<sup>[13]</sup>、硝普钠<sup>[14]</sup>、二氧化氯<sup>[15]</sup>、次氯酸钠<sup>[16]</sup>、过氧乙酸<sup>[17]</sup>、壳聚糖<sup>[18]</sup>等杀菌物质。因化学处理的物质残留和消费者接受度等问题,微波处理<sup>[19]</sup>、减压贮藏<sup>[20]</sup>、静电场处理<sup>[21]</sup>等物理方法也有用于鲜切西蓝花保鲜研究的报道。

辐照作为一种物理杀菌保鲜技术,不仅可有效控制产品中的微生物数量,杀灭病原微生物,减少食源性疾病的发生,还可抑制鲜活农产品的生物酶活性,对保障新鲜果蔬的食用安全、延长产品保鲜期都有重要作用<sup>[22-23]</sup>。电子束辐照速度快、加工时间短、产品温升小,可实现产品低温快速杀菌,对鲜切果蔬等有冷杀菌需求的产品尤其重要。国内已有用于鲜切哈密瓜<sup>[24]</sup>、青椒<sup>[25]</sup>、牛蒡<sup>[26]</sup>、西洋芹<sup>[27]</sup>等果蔬的报道,但关于鲜切西蓝花电子束辐照的研究还未见报道。本试验以鲜切西蓝花为试材,明确电子加速器辐照对鲜切西蓝花的保鲜效果、微生物存活水平和冷藏时间的影响,探索电子束辐照鲜切西蓝花的应用可行性,为电子束辐照鲜切西蓝花的产品质量控制提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

新鲜西蓝花就近超市卖场自购,冰袋保温运至实验室。选取新鲜饱满、大小均匀、无小花开放、无病虫害、无机械损伤的西蓝花,将西蓝花修整,去掉主茎上的叶片,切去过长、老化的花茎,放入0.1%次氯酸钠水溶液中浸泡3 min,沥干水分,用锋利的刀具将其切分成直径3—4 cm的小花球,每个花球保留2—3 cm长的小茎。将切分好的小花球随机装入0.03 mm厚聚乙烯袋(PE)、0.02 mm厚聚氯乙烯袋(PVC)、一次性聚丙烯保鲜盒(PP)3种不同包装中,每个包装鲜切西蓝花100 g左右。PE和PVC包装用热塑封口,PP包装盖紧上盖,放入(4±1)℃冰箱以备辐照处理,整个流程保证2 h内进行辐照处理。辐照后的鲜切西蓝花置于(4±1)℃冰箱内冷藏存放30 d,定期检测有关指标。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 电子束辐照

包装好的鲜切西蓝花分别用不同剂量电子束辐照,设定剂量为0 kGy(未辐照)、2.4 kGy、4 kGy共3个水平,每个剂量水平设置8次重复。鲜切西蓝花包装单层摆放于不锈钢托盘中,避免花球互相叠压,进行电子束单面辐照。使用重铬酸钾(银)液体化学剂量计<sup>[28]</sup>对实际辐照剂量进行监测,控制剂量误差范围≤±5%,剂量计校准按照GB/T 16640—2008进行<sup>[29]</sup>。电子束辐照设备为清华同方威视IS1020电子加速器(10 MeV,20 kW)。

#### 1.2.2 黄化率、失重率和腐烂率测定

黄化率参考史君彦等<sup>[14]</sup>方法并做修改。0级:花球绿色无变黄;1级:花球<1/8面积变黄;2级:花球1/8—1/4面积变黄;3级:花球1/4—1/2面积变黄;4级:花球>1/2面积变黄。

$$\text{黄化率} = \frac{\sum(\text{各级花球数} \times \text{级数})}{\text{总花球数} \times \text{最高级数}} \times 100\%$$

失重率采用质量法测定。失重率=(初始质量-调查质量)/初始质量×100%

腐烂率以有小花发生褐变腐烂计算,腐烂率为发生腐烂的花球数占包装内总花球数的百分比。

#### 1.2.3 花球坚实度测定

英国 Stable Micro Systems 公司 TA-XT Plus 型质构仪检测,利用 P/50 圆柱形探头对鲜切西蓝花花球进

行压缩模式测试。分别选取不同处理的花球,稍微修剪花球边缘,保证无挤压状态下装入相同规格的玻璃烧杯中,下压测试。测前、测中、测后速度均为 1.00 mm/s,位移为 15.00 mm,触发力为 20.0 g。以最大正峰对应的力值(kg)表示坚实度。

#### 1.2.4 总叶绿素含量测定

丙酮提取,比色法测定<sup>[13]</sup>,以叶绿素 a 和叶绿素 b 的含量之和计算总叶绿素含量。

#### 1.2.5 组织相对电导率测定

参考高佳等<sup>[15]</sup>方法。使用雷磁 DDS-307 电导率仪测定。从每个处理样品中取 15 g 西蓝花小花球,加入 150 mL 去离子水,室温(20 ℃)100 r/min 振荡 30 min 后测定样品组织电导率,记为  $E_1$ 。再将测定样品置于 -20 ℃ 冷冻 24 h,取出解冻(50 ℃,60 min),测定解冻后样品组织电导率,记为  $E_2$ 。

组织相对电导率  $E = E_1/E_2 \times 100\%$

#### 1.2.6 微生物学检验

测定菌落总数、霉菌和酵母、大肠菌群 3 项指标,分别参照 GB/T 4789—2016<sup>[30]</sup> 中的系列标准《食品微生物学检验菌落总数测定》、《食品微生物学检验霉菌和酵母计数》、《食品微生物学检验大肠菌群计数》进行。

### 1.3 数据统计与分析

采用 SPSS 19.0 软件进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 电子束辐照对不同包装冷藏鲜切西蓝花黄化率、失重率和腐烂率的影响

小花变黄衰老是西蓝花保鲜中的主要问题之一。在本试验条件下,PP 保鲜盒包装的鲜切西蓝花最早出现黄化现象,4 ℃ 冷藏至 12 d 时有小花变黄,其他包装处理在冷藏至 18 d 时开始有黄化发生。由图 1 看出,黄化率随着冷藏时间延长而增加,不同处理间的黄化率始终以 PP 保鲜盒最高,PE 保鲜袋次之,PVC 保鲜袋最低。电子束辐照可抑制黄化发生,2.4 kGy 处理的效果优于 4 kGy 处理。采用 0.02 mm 厚 PVC 保鲜袋处理结合 2.4 kGy 辐照,可最大程度抑制黄化发生,4 ℃ 冷藏 18 d 时黄化率为 2.2%,24 d 时为 3.9%,30 d 时为 12.2%,始终低于同期其他处理。

鲜切西蓝花的失重率变化见图 2。电子束辐照对失重率影响不明显。随冷藏期间延长,失重率增加,PVC 保鲜袋处理的增幅最小,PE 保鲜袋处理次之,PP 保鲜盒处理最大。0—6 d 内鲜切西蓝花失重率增幅较大,但 0—18 d 内,所有处理的失重率均小于 3%,且各处理间差别不大。4 ℃ 冷藏 18 d 时,PVC 保鲜袋电子束辐照处理的失重率最低,其中 2.4 kGy 处理为 1.2%,4 kGy 处理为 1.0%。18 d 后,PE 保鲜袋和 PP 保鲜盒处理的失重率增幅较大,30 d 冷藏结束时,PVC 保鲜袋处理的失重率均低于 PE 保鲜袋和 PP 保鲜盒处理,但所有处理的失重率均未超过 5%。

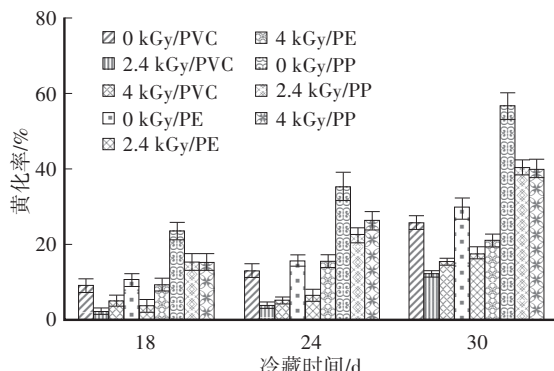


图 1 电子束辐照对不同包装 4 ℃ 冷藏鲜切西蓝花黄化率的影响  
Fig.1 Effect of e-beam irradiation on yellowing rate of fresh-cut broccoli in different packages at 4 ℃

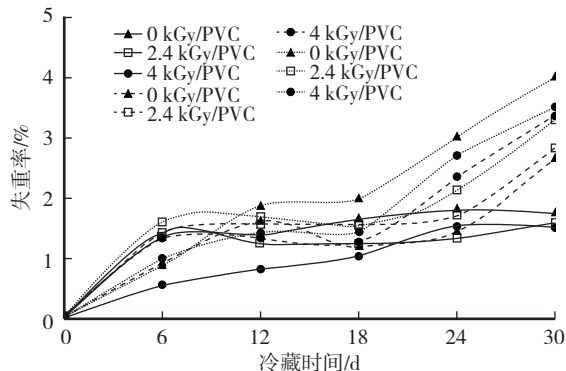


图 2 电子束辐照对不同包装 4 ℃ 冷藏鲜切西蓝花失重率的影响  
Fig.2 Effect of e-beam irradiation on weight loss rate of fresh-cut broccoli in different packages at 4 ℃

鲜切西蓝花冷藏期间腐烂率变化见表 1。由表 1 看出,冷藏至 18 d 时,PVC 和 PE 保鲜袋包装的电子束辐照处理鲜切西蓝花均无腐烂发生;同期未辐照鲜切西蓝花的腐烂率以 PVC 保鲜袋最低,PP 保鲜盒次

之,PE保鲜袋最高。随冷藏时间延长,鲜切西蓝花腐烂率增加,但仍表现为PVC保鲜袋包装低于同剂量其他包装处理。冷藏30 d时,PVC保鲜袋结合电子束辐照处理鲜切西蓝花的腐烂率未超过8%。统计分析表明,电子束辐照显著抑制腐烂发生,其中未辐照鲜切西蓝花在冷藏24 d、30 d的腐烂率均显著高于电子束辐照处理。

表1 电子束辐照对不同包装4℃冷藏鲜切西蓝花腐烂率的影响

Table 1 E-beam irradiation on decay rate of fresh-cut broccoli in different packages at 4℃

电子束辐照剂量/包装材料	辐照后冷藏 18 d	辐照后冷藏 24 d	辐照后冷藏 30 d	%
0 kGy/PVC	7.0 a	13.1 c	16.4 c	
2.4 kGy/PVC	0.0 a	2.2 ef	7.6 de	
4 kGy/PVC	0.0 a	0.0 f	4.6 e	
0 kGy/PE	29.7 b	32.8 a	38.2 a	
2.4 kGy/PE	0.0 a	6.7 cde	9.7 de	
4 kGy/PE	0.0 a	6.4 def	9.4 de	
0 kGy/PP	15.3 c	21.1 b	24.1 b	
2.4 kGy/PP	7.0 a	10.1 cd	13.1 cd	
4 kGy/PP	3.7 a	10.4 cd	10.4 cde	

## 2.2 电子束辐照对不同包装冷藏鲜切西蓝花花球坚实度的影响

贮藏期间的失水、小花衰老开花等都会导致西蓝花花球坚实度下降,商品性降低。鲜切西蓝花入贮时花球坚实度为11.1 kg,结合黄化现象的发生对冷藏12 d、18 d、24 d和30 d的鲜切西蓝花花球坚实度进行监测。由图3看出,冷藏期间花球坚实度逐渐降低,PVC保鲜袋处理的花球坚实度高于PE保鲜袋和PP保鲜盒处理。电子束辐照处理的鲜切西蓝花花球坚实度大于未辐照处理,其中2.4 kGy保持花球坚实度效果最好,其花球坚实度在4℃冷藏18 d时为9.1 kg,为入贮初值的82.3%,24 d时为8.3 kg,为入贮初值的74.8%。

## 2.3 电子束辐照对不同包装冷藏鲜切西蓝花总叶绿素含量的影响

鲜切西蓝花冷藏期间总叶绿素含量呈下降趋势,PVC保鲜袋处理降幅最小,PP保鲜盒处理降幅最大。电子束辐照可抑制总叶绿素含量下降,2.4 kGy效果优于4 kGy。冷藏至18 d时,PVC保鲜袋2.4 kGy处理的总叶绿素含量为11.5 mg/[ (100 g)FW],是入贮初值84.6%,PP保鲜盒未辐照处理的总叶绿素含量最低,仅为入贮初值的50%。所有处理的总叶绿素含量在冷藏24 d后快速下降,至冷藏30 d时,PP保鲜盒、PE保鲜袋、PVC保鲜袋不同包装处理中的最高总叶绿素含量分别为入贮初值的21.1%、26.5%、42.4%(图4)。

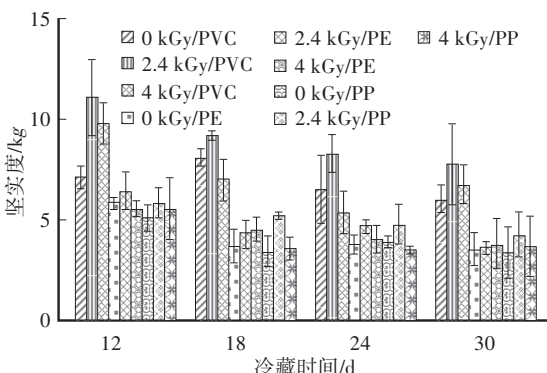


图3 电子束辐照对不同包装4℃冷藏鲜切西蓝花花球坚实度的影响

Fig. 3 E-beam irradiation on firmness of fresh-cut broccoli in different packages at 4℃

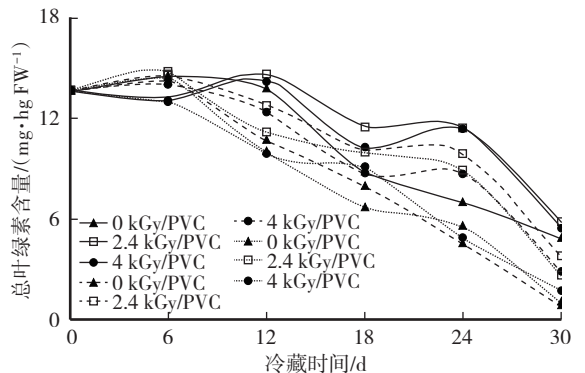


图4 电子束辐照对不同包装4℃冷藏鲜切西蓝花总叶绿素含量的影响

Fig. 4 Effect of e-beam irradiation on total chlorophyll content of fresh-cut broccoli in different packages at 4℃

## 2.4 电子束辐照对不同包装冷藏鲜切西蓝花组织相对电导率的影响

由图5看出,鲜切西蓝花的组织相对电导率在冷藏期间呈上升趋势,冷藏18 d时,PP保鲜盒未辐照处理的组织相对电导率最高,为10.8%,较入贮初值升高151.2%;PVC保鲜袋2.4 kGy处理的组织相对电导率最低,为5.4%,较入贮初值升高25.6%。冷藏24 d时,所有处理的组织相对电导率均出现较大幅度上升,PVC保鲜袋2.4 kGy处理的组织相对电导率仍保持所有处理中最低水平,为8.1%,较入贮初值升高88.4%。

## 2.5 电子束辐照对不同包装冷藏鲜切西蓝花微生物学指标的影响

电子束辐照对不同包装冷藏鲜切西蓝花菌落总数的影响见图6。电子束辐照可大幅降低鲜切西蓝花的菌落总数水平。冷藏期间,不同包装未辐照处理的菌落总数水平均大于 $10^4$  CFU/g,并随冷藏时间延长而增加。各包装辐照处理的菌落总数水平在辐照后大幅降低,但不同剂量间差异不大。冷藏6 d时,除PE保鲜袋2.4 kGy处理的菌落总数接近 $10^2$  CFU/g外,其他各电子束辐照处理均无菌落总数检出。随冷藏时间延长,各辐照处理的菌落总数逐渐增加,但在冷藏18 d时未超过 $10^3$  CFU/g,冷藏24 d时未超过 $10^4$  CFU/g,均低于辐照前 $2.3 \times 10^5$  CFU/g。

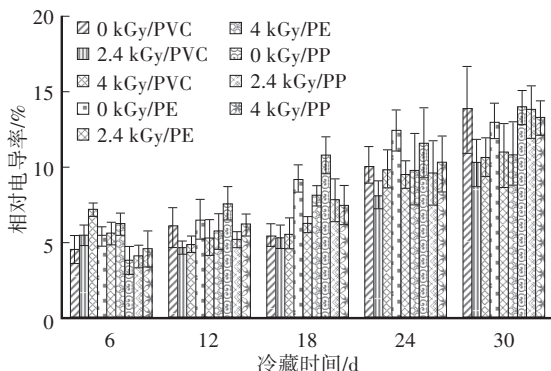


图5 电子束辐照对不同包装4 °C冷藏鲜切西蓝花相对电导率的影响

Fig. 5 Effect of e-beam irradiation on relative electronic conductivity of fresh-cut broccoli in different packages at 4 °C

各处理鲜切西蓝花冷藏期间霉菌和酵母计数的变化见图7。未辐照处理的霉菌和酵母计数在冷藏期间变化不大,在 $10^4$ — $10^6$  CFU/g 范围内波动。电子束辐照可降低霉菌和酵母水平,0—18 d内4 kGy的效果优于2.4 kGy。但各辐照处理对霉菌和酵母的杀灭效果低于菌落总数,冷藏6 d时,除PVC保鲜袋4 kGy处理的霉菌和酵母没有检出外,其他各辐照处理均有检出。不同包装辐照处理的霉菌和酵母计数随冷藏时间延长而增加,PVC保鲜袋4 kGy处理18 d内无霉菌和酵母检出,其后有较大幅度增加,其他各辐照处理霉菌和酵母计数在30 d冷藏期间上升幅度不大。冷藏30 d时所有辐照处理的霉菌和酵母计数均低于辐照前 $1.6 \times 10^5$  CFU/g。

鲜切西蓝花在加工过程中有0.1%次氯酸钠水溶液浸泡除菌处理,但浸泡后仍有大肠菌群检出,辐照前为460 CFU/g。6—30 d保鲜期内,不同包装未辐照处理的大肠菌群随冷藏时间延长而增加。电子束辐照杀灭大肠菌群效果良好,不同包装2.4 kGy处理的鲜切西蓝花18 d内均无大肠菌群检出,PVC保鲜袋和PP保鲜盒的4 kGy处理30 d内无大肠菌群检出,PE保鲜袋的4 kGy辐照处理24 d内无大肠菌群检出。冷藏30 d时,不同包装辐照处理鲜切西蓝花的大肠菌群均低于辐照前460 CFU/g(表2)。

表2 电子束辐照对不同包装4 °C冷藏鲜切西蓝花大肠菌群的影响

Table 2 Effect of e-beam irradiation on coliform bacteria of fresh-cut broccoli in different packages at 4 °C CFU·g<sup>-1</sup>

电子束辐照剂量/包装材料	辐照前	辐照后6 d	辐照后12 d	辐照后18 d	辐照后24 d	辐照后30 d
0 kGy/PVC	460	2 400	4 600	11 000	24 000	36 000
2.4 kGy/PVC	460	<3.0	<3.0	<3.0	3.6	9.2
4 kGy/PVC	460	<3.0	<3.0	<3.0	<3.0	<3.0
0 kGy/PE	460	2 400	2 400	24 000	24 000	15 000
2.4 kGy/PE	460	<3.0	<3.0	<3.0	9.2	240
4 kGy/PE	460	<3.0	<3.0	<3.0	<3.0	21
0 kGy/PP	460	2 400	2 400	21 000	46 000	93 000
2.4 kGy/PP	460	<3.0	<3.0	<3.0	23	43
4 kGy/PP	460	<3.0	<3.0	<3.0	<3.0	<3.0

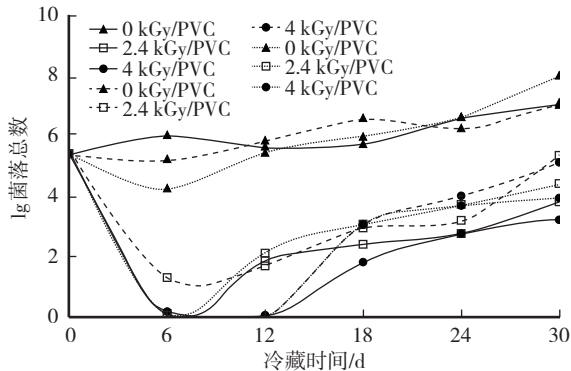


图6 电子束辐照对不同包装4 °C冷藏鲜切西蓝花菌落总数的影响

Fig. 6 Effect of e-beam irradiation on total bacterial counts of fresh-cut broccoli in different packages at 4 °C

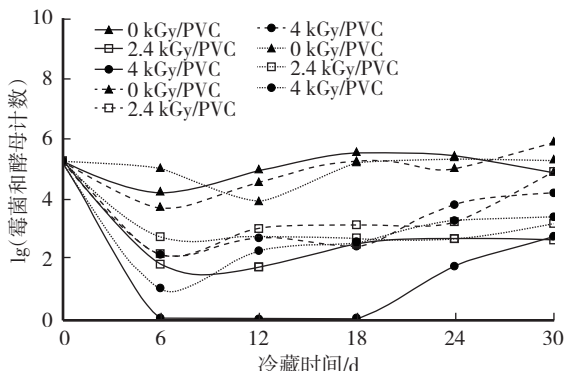


图7 电子束辐照对不同包装4 °C冷藏鲜切西蓝花霉菌和酵母计数的影响

Fig. 7 Effect of e-beam irradiation on yeast and mold counts of fresh-cut broccoli in different packages at 4 °C

### 3 结论

鲜切西蓝花是切割蔬菜的主要供应品种之一,也是新鲜西蓝花供应的重要产品形式。因代谢旺盛,含水量高,冷藏期间易出现黄化、花球变软、微生物腐烂等不良现象,室温下保鲜期不超过 3 d<sup>[1]</sup>,低温冷藏时保鲜期在 12—15 d<sup>[11-12]</sup>。本研究表明,电子束辐照作为一种物理冷杀菌技术,可满足鲜切西蓝花低温杀菌的技术需求,有效提高冷藏鲜切西蓝花的贮藏品质,延长保鲜期。0.02 mm 厚 PVC 保鲜袋结合 2.4 kGy 电子束辐照,4 ℃ 冷藏 18 d 时,鲜切西蓝花的黄化率为 2.2%,失重率小于 1.3%,花球坚实度为入贮初值的 82.3%,总叶绿素含量为 11.5 mg/[(100 g)FW],是入贮初值的 84.6%。无腐烂发生,无大肠菌群检出。综合考虑黄化率、失重率、腐烂率、叶绿素含量等保鲜效果和理化指标变化趋势,建议 0.02 mm 厚 PVC 保鲜袋结合 2.4 kGy 电子束辐照处理鲜切西蓝花在 4 ℃ 冷藏条件下的保鲜期为 18—24 d。

### 参 考 文 献

- [1] 甄天元,彭晓蓓,李文香,等. 丁香提取液对鲜切西蓝花保鲜效果的影响[J]. 食品科学,2011,32(10):279-282.
- [2] 董庆利,李保国,齐正,等. 鲜切蔬菜冷链加工中 HACCP 体系的确立[J]. 食品研究与开发,2009,30(10):142-145.
- [3] 贾金匣. 用于超市微加工蔬菜可选择吸光包装材料的研究[D]. 天津:天津科技大学,2011:1-5,20.
- [4] 张雪,赵明,王晶,等. 温度对鲜切西蓝花贮藏保鲜的影响[J]. 化学与黏合,2019,41(1):46-48,67.
- [5] 高雪,王然,朱俊向,等. 冰温结合自发气调包装贮藏对鲜切西蓝花保鲜效果的影响[J]. 中国食品学报,2013,13(12):122-128.
- [6] 陈学玲,张莉会,严守雷,等. 包装材料对鲜切西蓝花贮藏品质的影响[J]. 食品科学,2018,39(13):246-250.
- [7] 陈中杭,高珊珊,李振涛,等. 纳米改性 ZnO/纤维素膜对鲜切西蓝花的保鲜包装研究[J]. 中国印刷与包装研究,2014,6(4):112-116.
- [8] 陈双颖,赵习姮,刘洪竹,等. GA 与 6-BA 处理对鲜切青花菜抗氧化特性的影响[J]. 食品与发酵工业,2014,40(7):230-234.
- [9] 陈双颖,赵习姮,刘洪竹,等. 水杨酸和 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 处理对鲜切青花菜抗氧化特性的影响[J]. 食品科学,2015,36(2):260-264.
- [10] 王慧倩,郑聪,王华东,等. 乙醇熏蒸处理对鲜切西蓝花活性成分和抗氧化活性的影响[J]. 食品科学,2014,35(16):250-254.
- [11] 王宏延,曾凯芳,贾凝,等. 不同质量浓度臭氧水对鲜切西蓝花贮藏品质的影响[J]. 食品科学,2012,33(2):267-271.
- [12] 李庆鹏,崔文慧,郭芹,等. 曲酸处理对鲜切西蓝花品质及生理变化的影响[J]. 核农学报,2014,28(9):1664-1668.
- [13] 黄文部,马苑笛,文豪,等. 3 种精油处理对鲜切西蓝花品质的影响[J]. 食品与机械,2017,33(8):126-132.
- [14] 史君彦,王清,高丽朴,等. 外源硝普钠处理对青花菜贮藏过程中品质的影响[J]. 安徽农业科学,2012,40(33):16383-16385.
- [15] 高佳,斯跃洲,朱永清,等. 二氧化氯水溶液清洗对鲜切西蓝花冷藏品质的影响[J]. 保鲜与加工,2018,18(4):36-42.
- [16] 陈学玲,张莉会,何建军,等. 杀菌剂对鲜切西蓝花的保鲜作用[J]. 现代食品科技,2018,34(6):197-203.
- [17] COLLAZO C, LAFARGA T, AGUILO-AGUAYO I, et al. Decontamination of fresh-cut broccoli with a water-assisted UV-C technology and its combination with peroxyacetic acid[J]. Food Control, 2018, 93: 92-100.
- [18] MOREIRA M D R, ROURA S I, PONCE A. Effectiveness of chitosan edible coatings to improve microbiological and sensory quality of fresh cut broccoli[J]. LWT-Food Science and Technology, 2011, 44: 2335-2341.
- [19] 刁春英,闫洪波,高秀瑞,等. 不同微波强度对鲜切西蓝花品质的影响[J]. 热带作物学报,2017,38(12):2388-2393.
- [20] 钱骅,陈美龄,陈斌,等. 鲜切西蓝花减压预处理的保鲜研究[J]. 中国野生植物资源,2018,37(3):8-14.
- [21] 蒋耀庭,常秀莲,李磊. 高压静电场处理对鲜切青花菜保鲜的影响[J]. 食品科学,2012,33(3):299-302.
- [22] KONG Q L, WU A Z, QI W Y, et al. Effects of electron-beam irradiation on blueberries inoculated with *Escherichia coli* and their nutritional quality and shelf life[J]. Postharvest Biology and Technology, 2014, 95: 28-35.
- [23] 王秋芳,乔勇进,陈召亮,等. 高能电子束辐照对花椰菜保鲜效果的研究[J]. 南京农业大学学报,2011,34(1):133-136.
- [24] 周任佳,乔勇进,王海宏,等. 高能电子束辐照对鲜切哈密瓜生理生化品质的影响[J]. 核农学报,2012,26(2):300-305.
- [25] 王少丹,陈玉贞,陈达敏,等. 电子束辐照对鲜切青椒表面食源性致病菌杀灭效果的研究[J]. 食品工业科技,2018,33(15):67-70.
- [26] 冯岩岩,王庆国. 高能电子束辐照对鲜切牛蒡贮藏品质和褐变的影响[J]. 保鲜与加工,2013,13(5):29-33.
- [27] 陈召亮,方强,王海宏,等. 电子束辐照对鲜切西洋芹的保鲜效应[J]. 上海农业学报,2010,26(2):9-13.
- [28] 国家技术监督局. 使用重铬酸银剂量计测量 γ 射线水吸收剂量标准方法:JJG 1028—91[S]. 北京:中国计量科学研究院,1991.
- [29] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 辐射加工剂量测量系统的选择和校准导则:GB/T 16640—2008[S]. 北京:中国标准出版社,2008.
- [30] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局. 食品微生物学检验菌落总数测定,霉菌和酵母计数,大肠菌群计数:GB/T 4789—2016[S]. 北京:中国标准出版社,2016.